

# Tekoälyn varhaishistoriaa: laskevia koneita ja spirituaalisia automaatteja

*Markku Roinila*

Mekanismin voittokulku 1600-luvun tieteessä muun muassa Galileo Galilein (1564–1642) ja René Descartesin (1596–1650) myötä synnytti suuren mielenkiinnon koneisiin tai automaateihin. Esimerkiksi nuori Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) kertoo kirjoituksessaan *Ajatusleikki uudenlaisista näytännöistä* (*Drôle de pensée*, 1675) veden päällä kävelevästä koneesta, jota esiteltiin Pariisiin Seinejoella syyskuussa 1675. Samalla hän ehdotti perustettavaksi eräänlaista tiedemessujen ja maailmannäyttelyn yhdistelmää, jossa voitaisiin esitellä esimerkiksi sellaisia ihmeitä kuin keinotekoisia meteoreja, kuninkaallista konetta, jonka radalla kilpailisivat keinotekoiset hevoset, pieniä laskukoneita, koneita, jotka linkoavat esineen tarkalleen annettuun pisteeseen, konetta, joka esittää ihmisruumista, camera obscuraa sekä ”taidekonetta”, jonka kirjoittaja näki Saksassa.<sup>1</sup> Leibnizin mukaan yritys toimisi yleisölle silmien avaajana ja innostaisi keksintöihin, tarjoaisi kaunista nähtävää sekä opastaisi jokaista lukemattomien hyödyllisten ja kekseliäiden uutuuksien saloihin. Innovaatioista voitaisiin myös hyötyä taloudellisesti, sillä kaikki, jotka tekevät uuden keksinnön tai näppärän suunnitelman, voisivat tulla sinne, tehdä keksintönsä tunnetuksi ja saada voittoa.<sup>2</sup>

Leibnizin tavoite oli rahoittaa näytöksillä kunnianhimoiset tiedeakatemiahankkeensa, mutta hänellä ja monilla muilla oli myös todellista mielenkiintoa koneisiin ja niistä saatavaan

hyötyyn. Tämä sama kiinnostus näkyi eri tieteenaloilla, kuten matematiikassa, logiikassa, kielifilosofiassa ja tietoteoriassa. Ihmismielen riittämättömyys suhteessa Jumalaan, kaikkietävään, äärettömään mieleen sai haaveilemaan uudesta, paremmasta älystä ja ajattelusta, joka ulottuisi yhä kauemmas. Tämä tavoite ulottui myös moraaliin, jossa Jumalan täydellinen hyvyys ja muut täydellisyydet nähtiin ihmisen esikuvana – jos ihmisen ajattelu paranisi, ihmisestä voisi tulla hyveellisempi, lähempänä Jumalaa oleva olento.

Näiden filosofien mukaan ihmisen ajattelua kahlehtivat koneisiin verrattuna sellaiset harmittavat ja triviaalit seikat kuin tunteet, fyysiset tarpeet ja pitkien päättelyketjujen vaatima moniulotteisuus. Jos nämä esteet voitaisiin ylittää tavalla tai toisella, olisi mahdollista saavuttaa yhä uusia järjen voittoja ihmiskunnan hyväksi ja Jumalan kunniaksi. Monet näkivät tässä koneet ja ”koneellisen”, parempilaatuisen ja häiriöttömän ajattelun ensiarvoisen tärkeänä. Pisimmälle meni Thomas Hobbes (1588–1679) *De Corpore (Kappaleista)* -teoksen (1655) ensimmäisessä luvussa:

Päätteilyllä tarkoitan laskentaa. Laskeminen on joko monien yhteen lisättyjen asioiden summan kokoamista tai sen tietämistä, mitä jää jäljelle kun yksi asia otetaan pois toisesta [...] kaikki päätteily ymmärretään näiden kahden mielen toimintojen, yhteen- ja vähennyslaskun kautta.<sup>3</sup>

Hobbesin mukaan ihminen on siis ymmärrettävä eräänlaisena laskukoneena. Samantapaista ajattelutapaa seurasi 1700-luvulla Julian Offray de la Mettrie (1709–1751), joka kirjoitti kiistakirjoutuksen ihmiskoneesta, *L'Homme Machine* (1747). Oman lukunsa muodosti vielä eläinten fysiologia – Descartes oli tunnetusti sitä mieltä, että eläimet olivat vain koneita, joskaan hänen ajatuksensa ei saanut suurta kannatusta.<sup>4</sup>

Hahmottelen tässä artikkelissa tekoälyn historiaa varhaismodernin filosofian aikakaudella 1600–1700-luvuilla. Voin esittää

tässä vain muutaman väläyksen paljon keskustellusta tieteenhistorian alueesta, mutta se antaa toivoakseni perspektiiviä tämän teoksen muille teksteille. Esittelemäni aiheet ovat hieman erilisiä toisistaan, mutta yhteistä niille on ajatus komputaatiosta tai automaatiosta, eräänlaisesta mekaanisesta laskemisesta tai toiminnasta, jota voi pitää tekoälyn varhaisena lähtökohtana.

On kuitenkin huomattava, että pelkkä komputaatio eli informaation käsittely sinänsä ei riitä tekoälylle – kaikkia näitä pyrkimyksiä leimaa tietynlainen epistemologinen optimismi: automatisoidun ajattelun avulla uskotaan saatavan enemmän laadukasta tietoa ja kenties myös uudenlaisia ajatuksia, kun ajattelu-prosessi tulee sujuvammaksi. Tekoälyn varhaishistoria liittyy siis nimenomaan inhimillisen ajattelun mekanisoimiseen ja uskoon siitä, että sen avulla voidaan lieventää ihmismielen rajoituksia ja ajatella paremmin. Yhteistä sekä tekoälyn että tietokoneen historialle on kuitenkin laskennan kehitys.

## Laskukoneet ja mekaaninen laskeminen

Mekanistinen ajattelu on ollut elimellisessä suhteessa matematiikan kehitykseen – Galileo tunnetusti julisti, että luonnon kirja on kirjoitettu matematiikan kirjaimin.<sup>5</sup> Päätteleminen on usein ajateltu jonkinlaiseksi laskemiseksi tai kieleksi – voidaan esimerkiksi kutsua jotakuta laskelmoivaksi henkilöksi.<sup>6</sup> Aristoteleesta alkaen myös logiikka samastui vahvasti päätteilyyn.

Kuten Hobbesin tai Leibnizin edellä mainituista kirjoituksista voi huomata, usein matematiikka ja mekanistinen ajattelu yhdistyivät. Tästä on esimerkkejä jo antiikin ajoilta, ja esimerkiksi Albertus Magnuksen on väitetty rakentaneen mekaanisen ihmisen jo 1200-luvulla. 1700-luvulla tällaiset viihdytysvälineet tulivat suorastaan muodikkaiksi.<sup>7</sup> Tarkastelemme nyt kuitenkin 1600-luvun ensimmäisiä laskukoneita, jotka olivat kellon kaltaisia laitteita ja joita rakennettiin lähinnä hammaspyöristä ja vivuista.<sup>8</sup> Niiden avulla voidaan ikään kuin ajatella automaat-

tisesti tai ainakin ajatella nopeammin, kun osa raskaista laskutoimituksista on hoidettu koneellisesti. Niinpä laskukoneita voidaan ajatella järjen korvikkeina eli tekoälynä, vaikkakin laskenta käsittää yleensä vain osan ajatteluprosessista.<sup>9</sup>

Ensimmäinen moderni laskukone on Blaise Pascalin (1623–1662) vuosina 1642–1645 kehittämä *Pascaline*, jolla pystyi ratkomaan yhteen- ja vähennyslaskuja. Tosin se toimi parhaiten ainoastaan 6- ja 8-numeroisissa yhteenlaskutoimituksissa.<sup>10</sup> Myös kerto- ja jakolasku oli mahdollista, mutta hyvin hankalasti toistuvien yhteen- ja vähennyslaskujen kautta.<sup>11</sup> Pascal valmisti 50 konetta (ja lähetti yhden myös kuningatar Kristiinalle, joka esitteli konetta innokkaasti vierailleen), kunnes vihdoinkin patentoi laitteen. Jokainen *Pascaline* on käsintehty ja varsin altis toimintahäiriöille, mutta nykypäivään on silti säilynyt kuusi toimivaa kappaletta.<sup>12</sup> Pascalin laskukone voidaan katsoa nykypäivän tietokoneiden suoraksi edeltäjäksi, ja siksi yksi ohjelmointikieli onkin nimetty sen mukaan. Pariisin kuninkaallisen tiedeakatemian sihteeri Bernard le Bovier de Fontenelle (1657–1757) jopa runoili Pascalin laittaneen tyhmän koneen tavallaan puhumaan.<sup>13</sup>

Vielä suuremmin tietokoneen kehitykseen on kuitenkin vaikuttanut G. W. Leibniz. Myös hän kehitti laskukoneen, jonka prototyyppi avasi hänelle tien Lontoossa toimivan The Royal Societyn jäsenyyteen vuonna 1673.<sup>14</sup> Hänen koneensa oli edistyneempi kuin *Pascaline*, vaikka se suorittikin samanlaisia aritmeettisiä laskutoimituksia. Ongelmia tuotti riittävän taitavan käsityöläisen löytäminen koneen valmistamiseen sekä sopiva valmistusmateriaali. Messingistä valmistettu toimiva laite oli vihdoinkin valmis vuonna 1674. Se kykeni yhteen- ja vähennyslaskuun sekä kertolaskuun. Jakolasku, juuren ottaminen ja potenssiin nostaminen onnistuivat vain epäsuorien menetelmien avulla. Sillä voitiin laskea myös moninumeroisen kertojan kertolaskuja. Koneella oli kuitenkin vaikeuksia selviytyä siirtosummista.<sup>15</sup>

Leibnizin laskukonetta on vielä nykyäänkin pidetty suhteellisen luotettavana, ja siitä on olemassa useampi toimiva kappale.<sup>16</sup> Leibniz kehitti konettaan elämänsä loppuun saakka, sillä hän oli

hyvin tietoinen siitä, että mekanisoidulla laskemisella voi olla suuri merkitys ajattelun ja tieteen edistymisessä. Vuonna 1675 hän vertasi logiikkaa laskemiseen ja piti tavoitteenaan rakentaa eräänlainen logiikkakone, joka suorittaisi loogisia operaatioita.<sup>17</sup>

## Universaalikieliet

1600-luvulla olivat erityisen suosittuja universaalikielihankeet, joiden perimmäinen tarkoitus oli helpottaa ajattelua. Jos voitaisiin kehittää kaikille yhteinen, yksinkertainen ja intuitiivinen kieli, sen avulla voitaisiin parantaa merkittävästi ajattelua ja opettamista ja välittää ajatuksia ikään kuin automaattisesti. Tunnetuimmat universaalikieltä koskevista projekteista olivat Joachim Becherin (1635–1682) *Character pro notitia linguarum universali* (1661), jossa eri kieliin muodostettiin erilaisia numerojärjestelmiä, Athanasius Kirchnerin (1602–1680) *Polygraphia novi et universalis, ex combinatoria arte detecta* (1663), jonka notaatio perustui seitsemän kielen sanakirjaan, George Dalgarnon (1626–1687) *Ars Signorum* (1661), vaikeaselkoinen tiedon luokitteluun ja uudenaikaiseen kielioppiin perustuva projekti sekä omana aikanaan tunnustetuin ja tuetuin John Wilkinsin (1614–1672) *Essay Towards a Real Character, and a Philosophical Language* (1668), joka perustui empiiriseen käsiteanalyysiin.<sup>18</sup>

Teoksessaan *Methodin esitys* René Descartes piti järjen lisäksi nimenomaan kieltä sinä tekijänä, joka erottaa ihmisen koneesta ja eläimistä, joita hän piti koneina. Kieli toimii järjen instrumenttina, kuten Descartes kertoo seuraavassa kohdassa, joka ennakoii Alan Turingin ajatuskulkuja:

Jos [...] olisi sellaisia koneita, jotka muistuttavat meidän ruumistamme ja jäljittelevät meidän toimintojamme siinä määrin kuin on asiallisesti mahdollista, meillä olisi aina kaksi täysin varmaa keinoa todeta, etteivät ne suinkaan ole aitoja ihmisiä. Ensinnäkään ne eivät koskaan pystyisi käyttämään sanoja eivätkä yhdistele-

mään muitakaan merkkejä niin kuin me teemme ilmaistessamme ajatuksia toisillemme. Voidaan kyllä hyvin kuvitella puhetta tuottava kone, joka tuottaa sanoja ja vieläpä sellaisia, jotka vastaavat sen elimissä muutosta aiheuttavien esineiden aktioihin: jos sitä vaikkapa kosketetaan johonkin kohtaan, niin se kysyy, mitä sille halutaan sanoa, tai jos sitä kosketettaisiin johonkin toiseen kohtaan, niin se huutaa, että sille tehdään pahaa, ja niin edelleen. Mutta se tuskin osaisi järjestellä sanojaan eri tavoin vastatakseen mielekkäästi kaikkeen siihen, mitä sen läsnäollessa puhutaan, mihin kaikkein typerimmätkin ihmiset pystyvät. Toiseksi, vaikka sellaiset koneet suorittaisivat useita tehtäviä yhtä hyvin kuin me tai jopa paremmin kuin kukaan meistä, ne taatusti epäonnistuvat joissakin muissa, mikä paljastaisi sen, ettei niiden toiminta perustu tietämiseen vaan pelkästään elimien järjestykseen.<sup>19</sup>

Kääntäen voidaan siis ajatella, että jos olisi luonnon kanssa yhteensopiva, yksinkertainen ja universaali kieli, myös koneet voitaisiin opettaa puhumaan sitä ja ikään kuin lähestymään ihmistä. Tässäkin tosin ongelmaksi muodostuu se, että arkielämässä vastaan tulevia erilaisia tilanteita on niin paljon, että olisi ehkä mahdotonta ohjelmoida edes yksinkertaisen kielen vastine kaikkiin mahdollisiin tapauksiin. Toisin sanoen tarvittaisiin järkeä yhdistämään tilanteet toisiin, menneisytydessä kohdatuihin samankaltaisiin tapahtumiin ja vertailemaan niitä keskenään. Ihminen jää harvoin sanattomaksi, vaikkakin voidaan väittää, että ohjelmoimalla koneeseen eräänlaista small talkia sekin voi selviytyä useimmista tilanteista.

Descartes on kuitenkin hyvin skeptinen universaalikielihankeiden onnistumisen suhteen. Hän pohdiskeli asiaa kirjeessään 20.11.1629 monioppineelle Marin Mersennelle (1588–1648), jolla oli oma projektinsa universaalikielestä. Descartes näkee asiassa kaksi vaikeutta. Ensiksikin se, että kielen riisuminen aivan paljaaksi aiheuttaa kirjainten epäharmonisia yhdistelmiä, jotka kuulostavat riitasointuisilta ja rumilta. Toiseksi, kukaan ei halua nähdä vaivaa, joka aiheutuu kaikille kielille yhteisten primitii-

visten sanojen oppimisesta: ”Helpompaa olisi toimia niin, että ihmiset yhteisestä sopimuksesta opettelevat latinaa tai jotain muuta niistä kielistä, jotka ovat käytössä, eivätkä tuota [universaali]kieltä.”<sup>20</sup>

On vielä kolmaskin, teoreettinen ongelma. Descartesin mukaan universaalikielen muodostamiseksi on keksittävä järjestelmä, jossa kaikki ajatukset, jotka voivat juontua ihmismieleen, voidaan järjestää luonnolliseen järjestykseen numeroiden tavoin.

Tällainen kieli voidaan keksiä vain todellisen filosofian perusteella. Ihmisten kaikkia ajatuksia olisi mahdoton muuten luetella ja järjestää tai edes erotella siten, että ne olisivat selviä ja yksinkertaisia. Tämä on minun käsittääkseni suurin salaisuus, jonka voimme tuntea pätevän tiedon hankkimiseksi. Kaikki ihmisten ajatukset koostuvat yksinkertaisista ideoista, joita esiintyy heidän kuvittelussaan; jos joku selittäisi oikein, mitä ne ovat, ja jos kaikki tämän selityksen hyväksyisivät, rohkenisin seuraavaksi odottaa universaalista kieltä, joka olisi sangen helposti opittavissa, äännettävissä ja kirjoitettavissa. Ja mikä tärkeintä, se auttaisi arvoselukykyä esittämällä kaikki asiat niin tarkasti, että sen olisi lähes mahdotonta erehtyä.<sup>21</sup>

Descartes ei ollut erityisen toiveikas tämän toiveen toteutumisen suhteen, mutta hänen seuraajansa Antoine Arnauld (1612–1694) ja Pierre Nicole (1625–1695) (ns. Port-Royalin koulukunta) tekivät kuitenkin kokeiluja universaalikieliopin parissa teoksessaan *L'art de penser* eli *Ajattelemisen taito* (ns. Port-Royalin logiikka) (1662). Heidän mukaansa sekaannukset johtuivat usein siitä, että samoja sanoja käytetään ilmaisemaan eri asioita. Kiinnitämme myös enemmän huomiota sanoihin kuin itse asioihin. Paras tapa välttää nämä vaikeudet olisi luoda täysin uusi kieli, jossa sanat merkitsevät vain yhtä asiaa.<sup>22</sup>

## Leibnizin *characteristica universalis* ja binäärilaskenta

Myös Leibniz oli kehitellyt universaalikieliä, jotka perustuivat muun muassa yksinkertaistettuun latinaan ja numeroihin. Kiintoisampaa tässä on kuitenkin hänen panoksensa kartesiolaisten ongelmien ratkaisuun.<sup>23</sup> Jälkipolville on säilynyt Descartesin kirjeenvaihdon kopio, johon Leibniz teki omia merkintöjä. Edellä mainitun Mersennelle osoitetun kirjeen marginaaleista voidaan lukea Leibnizin huomautus siitä, että vaikka universaalikieli on riippuvainen oikeasta filosofiasta, se ei ole riippuvainen tämän filosofian täydellistymisestä: universaalikielen kehitys etenee inhimillisen tiedon lisääntyessä. Voidaan siis edetä vähitellen kohti suurta päämäärää.<sup>24</sup> Leibniz luotti logiikan voimaan ja uskoi vahvasti siihen, että hän eli edistyksen aikakautta.

Leibnizin merkittävin kontribuutio aiheeseemme on Aristoteleen kategoriaopin pohjalta kehitetty ”suuri” ajatus: sen sijaan, että aakkostossa merkit representoivat äännteitä, ne voisivatkin edustaa käsitteitä (*Characteristica universalis*). Tällaiselle aakkostolle perustuvassa kielessä pitäisi olla mahdollisuus määrittää pelkkien laskutoimitusten kautta, mitkä tällä kielellä kirjoitetut lauseet ovat tosia ja millaisia loogisia suhteita niiden välillä valitsee. Leibniz kaavaili siis ”mielen laskukonetta”, systeemiä, joka ei vain heijastelisi mieltä adekvaatisti vaan toimisi myös järjen korvikkeena. Tavoitteena oli metodi, jonka avulla ajatteleminen tapahtuisi mekaanisesti, ilman mitään suhdetta kyseessä olevaan asiaan. Tämä aakkosto, joka toimisi samalla myös universaalikielenä, sisältää koko inhimillisen tiedon yksinkertaisin käsittein ilmaistuna.<sup>25</sup> Tästä käsittekirjoituksesta tai laskemisesta muodostuisi vähitellen universaalitiede, jota Leibniz kuvaa seuraavasti:

Tämä karakteristiikka koostuu tietystä merkintätavasta tai kielestä [...] joka kuvastaa täydellisesti ajatustemme välillä vallitsevia suhteita. Sen merkit olisivat aivan erilaisia kuin mitä tähän asti on kuviteltu. Tämä johtuu sen periaatteen unohtamisesta,



että kyseisen merkintätavan tulisi palvella keksimistä ja arvostel-  
mien muodostamista samaan tapaan kuin algebrassa ja aritme-  
tiikassa. Tällä merkintätavalla tulee olemaan monia etuja. Eräs  
niistä vaikuttaa minusta erityisen tärkeältä. Kyse on nimittäin  
siitä, että näiden merkkien avulla ei voida lainkaan kirjoittaa mie-  
leemme juolahtavia merkityksettömiä ilmaisuja [...] Sen käyttöä  
harjoitellessaan tietämättömästäkin tulee oppinut ihminen.<sup>26</sup>

Leibniz siis väittää, että hänen uusi karakteristiikkansa tekee  
ajattelun ihmisen puolesta tai ainakin parantaa ihmisen ajattelun  
laatua. Toisinaan hän myös samastaa logiikan ja universaalii-  
tieteen. Samaa suureen ajatukseen perustui myös Leibnizin  
väitöskirja *De arte combinatoria* (1666) – hän ymmärsi, että  
käsiteaakkoston muodostamiseksi olisi laskettava eri tavat, joilla  
asiaankuuluvia käsitteitä voidaan yhdistellä.

Kun *characteristica universalis* on kehitetty valmiiksi, kaikki  
yksinkertaiset käsitteet voidaan löytää. Tämä taas merkitsee sitä,  
että käsiteaakkosto toimii ikään kuin järkeilynä ja sen avulla voi-  
daan tehdä rationaalisia päätöksiä. Mikäli päätös on kiharainen  
ja siitä vallitsee eriäviä mielipiteitä, osapuolet voivat vain laskea  
oikean tuloksen – he voivat kokoontua yhteen ja sanoa toisilleen:  
”Laskekaamme! (*Calculemus!*)”<sup>27</sup> Jos siis vaikka ”eläimen” luku  
olisi 2 ja ”rationaalisen” luku olisi 3, olisi ihmisen luku rationaali-  
sena eläimenä silloin  $3 \times 2$  eli 6. Näin vastaus kysymykseen, onko  
jokainen ihminen rationaalinen olio, voidaan redusoida laskutoi-  
mitukseen, jossa kuusi jaetaan kolmella.<sup>28</sup>

*Characteristica universaliksen* kehittäminen ei toki ole ihan  
helppo tehtävä. Se voi olla jopa mahdotonta, minkä jo Descartes  
oli aikoinaan havainnut.<sup>29</sup> Universaalineroksin nimetty Leibniz  
kuitenkin uskoi ajatukseensa elämänsä loppuun saakka. Hän ajat-  
teli, että tavoite olisi saavutettavissa tieteellisten akatemioiden  
yhteistyön kautta ja yritti perustaa niitä parhaansa mukaan eri  
puolille Saksaa ja Venäjällekin.<sup>30</sup> Kun kuitenkin ajattelee viime  
vuosisatojen logiikan ja nykyajan tekoälyn kehitystä, on ilmeistä,  
että Leibnizin haave universaalikielestä oli hieman optimistinen.

Leibniz ei toki ollut sinisilmäinen universaalikalkyylinen suhteen – tiukan loogiseen kalkyyliin perustuvan mallin ja matemaattisten todennäköisyysmallien ohella hän kehitti erilaisia vähemmän vaativia, riittävän perusteen periaatteen pohjautuvia todennäköisyysmalleja ja vaihtoehtoisia päätöksentekomalleja, jotka perustuivat muun muassa keskiajan oikeuskäytäntöihin ja dynaamisten voimien käyttäytymiseen luonnossa.<sup>31</sup> Leibnizin haaveissa tieteenharjoittajien yhteistyönä syntyneet tulokset tulisi koota suureen teokseen, universaalien syklologiaan. Universaalien syklologiaa ei voisi erottaa toisistaan, sillä aakkosto olisi ensyklopedian avain. Toisin sanoen ensyklopedia sisältää kaiken maailman tiedon koodatussa muodossa ja siihen sisältyvät päättelysäännöt (*calculus ratiocinator*), joiden avulla koodi avataan.<sup>32</sup>

Tarkoitusta varten Leibniz kehitti symbolista logiikkaa, josta tuli George Boole (1815–1864) myötä uuden logiikan valtavirtaa 1800-luvulla – Boole itse ei kuitenkaan ilmeisesti ollut tietoinen edeltäjänsä saavutuksista, sillä monet Leibnizin logiikkaa koskevat kirjoitukset julkaistiin vasta 1900-luvulla muun muassa Louis Couturatin toimesta.<sup>33</sup> On joka tapauksessa ilmeistä, että logiikka on vaikuttanut ja vaikuttaa suuresti tietojenkäsittelyyn ja siten tekoälyn kehitykseen. Leibniz kuvaa ajatustaan symbolisesta ajattelusta tietoteoreettisessa artikkelissaan *Mietiskelyjä tiedosta, totuudesta ja ideoista* (1684) näin:

Yleensä, etenkin jos analyysi on pitempi, emme tavoita intuitiivisesti olion koko luontoa yhdellä kertaa vaan käytämme olioiden sijasta merkkejä, joiden eksplikoimisen kulloisenkin ajatuksen yhteydessä jätämme lyhyden vuoksi tekemättä, tietäen tai uskoen, että kykenisimme sen tekemään [...] tällaista ajattelua, jota käytetään algebrassa ja aritmetiikassa ja melkeinpä kaikkialla, minulla on tapana sanoa sokeaksi tai symboliseksi.<sup>34</sup>

Leibniz kirjoitti ja osin julkaisi suuren ajatuksensa tiimoilta paljon erilaisia kirjoituksia, mutta tekoälyn kehityksen kannalta

erityisen kiinnostavia ovat hänen binäärilaskennasta kirjoittamat tekstinsä, joista osa ilmestyi artikkeleina. Julkaisematta jäi kuitenkin vuonna 1703 (?) kirjoitettu *De dyadicis* ("Kaksittaisuista"), joka on suomennettu kokoelmaan *Filosofisia tutkielmia*.<sup>35</sup> Kokeiltuaan eri tavoin muotoiltua käsiteakkostoa hän oli tullut siihen tulokseen, että koko aritmetiikka voidaan esittää kymmenlukupöytäjärjestelmän sijaan pelkkien binäärilukujen 0 ja 1 avulla.

Tämä ajatus, joka olennaisilta osiltaan perustuu Leibnizin "sokeaan ajatteluun", käytännössä perusti tietojenkäsittelytieteen. Leibniz itse oli kuullut Kiinassa toimivalta jesuiittaisesta Bouvetilta *I-Chingistä* eli *Muutosten kirjasta* ja katsoi keksineensä uudelleen heidän merkintätapansa, mikä hänen mielestään osoitti, että hänen ajatuksellaan on yhteyksiä kiinalaiseen filosofiaan.<sup>36</sup> Leibniz päättääkin kirjoituksen näin:

Ihmeellistä kyllä asia, joka muinoin tunnettiin mantereemme äärimmäisessä idässä, viriää nyt uudelleen äärimmäisessä lännessä, mutta toivoakseni suotuisammassa merkeissä. Ei nimittäin näytä siltä, että tätä merkintätapaa olisi aikaisemmin käytetty lukujen tuntemisen edistämiseksi. Kiinalaisetkaan eivät ajatelleet mitään aritmeettista perustetta vaan kuvittelivat puhtaille luku-merkeille jonkin mystisen merkityksen.<sup>37</sup>

## Spirituaaliset automaattit

Kuten olemme nähneet, 1600–1700-luvuilla automaattit eli liikkuvat koneet olivat suosittua kansanhuvia. Eräät filosofit halusivat kuitenkin soveltaa ajatusta myös ihmisen mielen toimintaan. Syntyi ajatus spirituaalisista automaateista, ihmisistä, jotka siirtyvät ikään kuin automaattisesti tilasta tai havainnosta toiseen, ilman oman tahtonsa vaikutusta. Nämä ihmiset ajautuvat tilanteesta toiseen erilaisten impulssien, erityisesti tunteiden, vaikuttamina – taustalla on tosin ajatus siitä, että nämä automaattit

ovat tavallaan Jumalan ohjelmoimia. Ajatus spirituaalisesta automaattista edeltää joitakin nykyisen naturalismin muotoja, joissa ihmisen tietokyvyn taustalla on nähty evoluutio.<sup>38</sup>

Käsityksellä oli joukko taustaoletuksia. Ensiksikin oli ajatus siitä, että ihmisillä on tiettyjä myötäsyttyisiä, yhteisiä käsitteitä, joihin järkeily olennaisesti perustuu. Toiseksi ajateltiin, että tunteet ovat kognitiivisia arvostelmia, jotka kertovat meille jotakin maailman rakenteesta ja Jumalan olemuksesta. Nämä kaksi oletusta sitoo yhteen eettinen perfektionismi, jonka mukaan meidän tulee seurata Jumalaa eettisenä esikuvana omassa toiminnassamme, sillä hänessä ovat kaikki täydellisyydet.<sup>39</sup> Ajatusta spirituaalisista automaateista kehittivät etupäässä Cambridgen platonistit sekä Spinoza ja Leibniz, vaikkakin se esiintyy alustavassa muodossa jo Francis Baconilla.<sup>40</sup>

Cambridgen platonistien johtohahmo Henry More (1614–1687) kritisoi Descartesin mekanismia ja haki innoitusta Platonilta ja Plotinokselta. Cambridgen platonistit pitivät yhteisiä käsitteitä tärkeinä, sillä päättely lähtee siitä, että ulkoiset oliot aktivoivat tai herättävät ne.<sup>41</sup> Tämä päättely tapahtuu ikään kuin automaattisesti, eikä Moren mielenfilosofiassa ole sijaa itsenäiselle, voimakkaalle tahdolle Descartesin tapaan. Tämän vuoksi hänen mielenmalliaan voidaan kutsua spirituaaliseksi automaattiksi, jossa automaatti seuraa ideoiden tai tilojen sarjaa ilman itsenäisen tahdon toimintaa.<sup>42</sup>

Moren mukaan maallisen ja tuonpuoleisen elämän välissä toimii luonnon henki tai hylarkkinen prinsippi. Se on kaikkien fysikaalisten ilmiöiden vitaalinen periaate ja itsessään osa luomistyötä pikemmin kuin osa jumaluutta. Ihmisen ruumiin toimintaa ohjaa luonnon henki, kun taas sen mieli eli puhdas intellekti tai immateriaalinen automaatti ohjautuu ihannetapauksessa Jumalan tahdon ja järjen mukaan. Tässä ohjautumisessa keskeisellä sijalla ovat tunteet, sillä Moren mukaan korkein tieto sisältää jumalallisia impulsseja ja ne näyttäytyvät meille tunteina. Ihminen voi siten saavuttaa ilon tunteen, kun hän seuraa Jumalan tahtoa oman, ilmeisen tehottoman tahtonsa sijaan – intellek-

tuaaliset tunteet tavallaan korvaavat tahtomuksemme, mitä on pidettävä positiivisena asiana.<sup>43</sup> Voimme päätellä iloon liittyvien asioiden olevan jumalallisen tahdon mukaisia ja meidän tulee seurata automaattisesti näitä impulsseja tai merkkejä, sillä ne liittyvät intellektuaaliseen rakkauteemme Jumalaa kohtaan.<sup>44</sup>

Spinoza ei luultavasti lukenut Morea, mutta hänen varhaisessa, keskeneräiseksi jääneessä teoksessaan *Tutkielma ymmärryksen parantamisesta* on samankaltaisia ajatuksia automaateista. Lisäksi myös Spinozan etiikkaa leimaa eettinen perfektionismi. Hän sanoo, että meihin vaikuttavat jumalalliset impulssit ja ne yhdistyvät ymmärrykseemme. Spinozan mukaan sitten kun mieli on löytänyt toden idean, sen seuraavat ajatukset ovat tämän idean ohjaamia ja mieli on siten kuin spirituaalinen automaatti, joka seuraa vain ymmärryksen lakeja tahdon vaikuttamatta asiaan.<sup>45</sup> Teoksessaan *Etiikka* (1677) hän ei käytä nimitystä ”spirituaalinen automaatti”, mutta ajatus näyttää säilyneen suunnilleen samankaltaisena.

Taustalla on Spinozan metafyyssinen monismi: maailmassa on vain yksi substanssi, Jumala tai luonto, ja sillä on kaksi attribuuttia, ulottuvaisuus ja ajattelu. Ihminen on osa luontoa näiden kahden attribuutin kautta, sillä inhimillinen ajattelu on ajattelun äärellinen modus ja ihmisen ruumis on ulottuvaisuuden äärellinen modus. Kun meillä on adekvaatti idea (esimerkiksi Jumalasta; on myös muita yhteisiä totuuksia), voimme johtaa muut ideat tuosta yhdestä ideasta. Spirituaalinen automaatti siis johtaa omat ideansa, ja tämä ohjaa sen toimintaa. Automaatin toimintaa vie eteenpäin halu eli *conatus*.<sup>46</sup>

Adekvaatit ideat liittyvät olennaisesti aktiivisuuteen ja täydellisyyteen. Mitä aktiivisempi ihminen on, sitä enemmän hänellä on adekvaatteja ideoita ja sitä paremmin hän suuntaa itseään kohti täydellisyyttä lisääntyvän ymmärryksen avulla.<sup>47</sup> Hän voi myös manipuloida affekteja täydellistymisen edistämiseksi erottamalla ajatuksen affektin ulkoisesta syystä ja siirtämällä sen muihin ajatuksiin.<sup>48</sup> Tällä tavoin voidaan päästä irti passiivisuudesta ja surusta, ymmärtämällä sen lähde.<sup>49</sup>

Spinozalla tunteet siis ohjaavat spirituaalista automaattia halun johdattamana. Moren lailla varsinaista itsenäistä tahtoa ei ole, vaan se on ymmärrettävä pikemminkin myöntymiseksi sille, mitä ymmärrys kulloinkin suosittaa.<sup>50</sup> Siten tahdon sijaan voidaan puhua halusta, joka tähtää elinvoiman säilyttämiseen ja kasvattamiseen. Tämä saavutetaan aktiivisuuden ja täydellistymisen kautta. Hyveen tavoittelu vaatii ennen kaikkea adekvaatteja ideoita ja positiivisia tunteita ymmärryksen tueksi.

Myös Leibniz allekirjoittaa ajatuksen spirituaalisesta automaatista, vaikka hänen metafysiikkansa on hyvin erilainen kuin Cambridgen platonisteilla ja Spinozalla. Leibnizin teorian lähtökohdat ovat löydettävissä artikkelista *Substanssien luontoa ja kanssakäymistä sekä ruumiin ja sielun unionia koskeva uusi järjестelmä* (1695). Siinä hän erottaa toisistaan luonnolliset ja spirituaaliset koneet, jotka toimivat yhteistyössä toistensa kanssa Jumalan säätämän, ennalta asetetun harmonian puitteissa. Leibniz myös argumentoi, että keskiajan aristotelismissä suositut substantiaaliset muodot on herätettävä henkiin, kuitenkin siinä muodossa, että ne sisältävät paitsi halun aktiivisuuteen itsessään myös niiden lähteet eli aktiivisen voiman.<sup>51</sup> Leibnizin teoriassa ääretön määrä keskenään yhteensopivia substansseja pyrkii jatkuvasti kohti hyvää oman sisäisen aktiivisuutensa ajamina.

Korkeamman luokan substanssit eli mielet on nähtävä spirituaalisina automaatteina. Mielessä jokainen tila seuraa edellisestä halusta tai sisäisestä voimasta (primitiivinen aktiivinen voima). Leibniz kutsuu tätä prosessia substantiaaliseksi muodoksi tai sarjan laiksi. Hän jopa sanoo, että inhimillinen ajattelu koostuu voimasta, siinä missä ruumis koostuu liikkeestä.<sup>52</sup> Leibnizin mukaan mieli on kuitenkin spontaani, minkä vuoksi se voi täydellistää itseään ja kehittää ymmärrystään esimerkiksi opiskelun ja tieteenharjoituksen kautta. Siten mieli seuraa päämääräsyitä siinä missä ruumis seuraa vaikuttavia syitä.

Moresta ja Spinozasta poiketen Leibniz korostaa vahvan tahdon merkitystä täydellistymisessä. Tahto liittyy appersep-tioon, tietoisuuteen omista ajatuksista. Leibniz on yksi ensimmäinen

mäisistä, joka erottaa tietoisien ajattelun tiedostamattomasta (puhuen pienistä tai hetkittäisistä havainnoista). Leibnizin mukaan halut ja tunteet syntyvät vähitellen pienistä havainnoista ja ne sotkevat tietoisia ajatuksia mutta toisaalta myös ajavat ihmistä eteenpäin kohti hyvää erityisen vaiston tai ”luonnollisen tunteen” ohjaamina. Leibnizin teoksesta *Uusia tutkielmia inhimillisestä ymmärryksestä* (1704) löytyy hyvin mielenkiintoinen ja sofistikoitu esitys spirituaalisen automaatin toiminnasta. Yritän lopuksi tiivistää sen keskeiset piirteet.<sup>53</sup>

Leibnizin mallissa tahto on pysyvä pyrkimys kohti sitä, mitä ymmärrys pitää hyvänä ja mistä se on tietoinen. Tahto seuraa yleensä ymmärrystä ja edustaa mielessä edellä mainittua primitiivistä aktiivista voimaa. Ne havainnot, joita kohti tahto suuntautuu, ovat selviä ja tarkkoja, ja olemme niistä tietoisia – ne ovat ymmärryksen suosittamia toimintavaihtoehtoja. Toisaalta pyrimme sisäsyntyisen vaistomme tasolla jatkuvasti kohti mielihyvää ja yritämme välttää mielipahaa. Nämä hyvää ja pahaa koskevat havainnot ovat pieniä, siis tiedostamattomia havainnot, joita ei voida huomata yksittäin, vain toisiinsa liittyneinä. Nämä pienten havaintojen yhteenliittymät synnyttävät haluja ja taipumuksia, jotka ovat myös läsnä ihmisen harkinnassa tahdon ohella, ja niiden taustalla ovat siis tiedostamattomat havainnot. Toisinaan voi tapahtua siinä määrin samaan suuntaan menevien taipumusten yhteenliittymistä, että tulemme tietoisiksi niistä, jolloin kyseessä on varsinainen tunne eli passio.

Kun nyt ihminen harkitsee, tahdon valitsemaa toimintavaihtoehtoa vastaan asettuu edellä mainittuja tiedostamattomia taipumuksia, joita Leibniz kutsuu appetitioiksi tai haluiksi, ja läsnä saattaa olla myös tiedostettuja passioita. Harkinta on näiden lopputulema, joka seuraa ikään kuin automaattisesti, hieman kuin luonnonvoimien välisessä konfliktissa. Tiedostamattomien halujen vuoksi tahdon asema harkinnassa on usein heikentynyt, ja vastakkaisten ”mielen voimien” konfliktin lopputuloksena voimme suuntautua esimerkiksi aistinautinnon sisältävään toimintaan edeltä käsin harkitun aikomuksen vastaisesti. Leibniz

kehottaakin vahvistamaan tahtoa, sillä se on paras keino seurata selviä ja tarkkoja eli tietoisia havaintoja epäselvien ja tiedostamattomien sijaan. Tulee siis pyrkiä iloon ja onnellisuuteen, jotka seuraavat siitä, että edistämme järjen avulla yleistä hyvää, mikä on myös Jumalan tahto.

Leibnizin moraalipsykologia muistuttaa joiltakin osin siis sekä Cambridgen platonisteja että Spinozaa: ihminen on havainnosta ja tilanteesta toiseen ajautuva moraalinen entiteetti, jonka toimintaan vaikuttavat erilaiset impulssit, ellei hän päättäväisesti kehitä ymmärrystään ja aktiivisuuttaan. Vahva tahto seuraa ymmärryksen toimintasuosituksia, jolloin ihminen on toimissaan itse aktiivinen sen sijaan, että jättäytyisi passiivisesti tiedostamattomien impulssien johdattamaksi. Leibnizia ja Spinozaa yhdistää eettinen perfektionismi – meidän tulee pitää Jumalaa esikuvana eettisessä toiminnassa ja pyrkiä tarkastelemaan maailmaa ikään kuin hänen näkökulmastaan.

## Lopuksi

Olemme nähneet, että matematiikkaan luottavan mekaniikan nousun myötä 1600-luvulla syntyi paljon koneellisuuteen perustuvia laitteita ja ajatusrakennelmia. Kansanhuviksi ja rahankehtämiseksi kehitetyt ihmiskoneet ja muut mekaaniset koneet muotoutuivat vähitellen tieteellisesti merkityksellisiksi instrumenteiksi, kuten laskukoneiksi ja erilaisiksi kalkyyleiksi sekä pyrkimyksiksi yleiskieleen.

Kuten huomattiin, monet näistä yrityksistä eivät tuottaneet aivan toivotunlaisia tuloksia. Suuret haaveet jäivät kuitenkin elämään, ja on myös kiistatonta, että 1600-luvun laskukoneilla ja binäärilaskennalla oli pysyvää merkitystä: nykyajan tietokonekielel ja digitalisoituminen saati tekoäly eivät olisi olleet mahdollisia ilman niitä. Ajatuksen automaattista taas voi katsoa edeltävän monia myöhempiä ihmistieteitä. Leibnizin avaama itsetiedostuksen merkitys ja tiedostamattomien havaintojen rooli mielen



toiminnassa ja jo Cambridgen platonisteilta ja Spinozalta löytyvä ajatus ihmisen automaattisesta pyrkimisestä kohti hyvää tiettyjen rationaalisten prosessien ohjaamana mahdollistivat (Kantin myötävaikuttamana) nykyaikaisen psykologian sekä tavallaan myös behaviorismin synnyn. Hobbesin näkemyksen ajattelusta komputaationa voidaan nähdä edeltävän digitaalisia ihmistiehteitä, ja universaalikielihakkeita voidaan pitää yleisen kielitieteen varhaisina edeltäjinä. Jäämme jännityksellä odottamaan, ylittääkö 21. vuosisata 1600-luvun filosofien haaveet. Tuottaako se meille vakavasti otettavan tekoälyn, josta riittää muuhunkin kuin kansanhuviksi ja mekanistisen ajattelun apuvälineeksi?

## Tekoälyn varhaishistoriaa: laskevia koneita ja spirituaalisia automaatteja

1. Leibniz ei valitettavasti kerro, minkälainen tämä taidekone oli.
2. Leibniz 2011, 45–48.
3. *De Corpore* 1.1.2; Hobbes 1839, 3.
4. Descartes 2001, 155–156; ks. myös Jolley 2013.
5. Heinämaa & Tuomi 1989, 159.
6. Davis 2000, 199.
7. Heinämaa & Tuomi 1989, 47–48.
8. Pulkkinen 2004, 120–121, 132.
9. Juuri näin asian ymmärsi Pascalin sisar, joka kuvasi veljensä laskukonetta (Khalfa 2006, 139).
10. Pascalinesta ks. History Computer. Pascaline– Complete History of the Pascaline Calculator, ks. myös [www.youtube.com/watch?v=3h71HAJWnVU](http://www.youtube.com/watch?v=3h71HAJWnVU).
11. Pulkkinen 2004, 131.
12. Pulkkinen 2004, 133; Rogers 2006, 8.
13. Khalfa 2006, 123.
14. Leibnizin laskukoneesta ks. History Computer: Gottfried Leibniz, ks. myös [www.leibnizcentral.de](http://www.leibnizcentral.de)-sivustolta osio Die Rechenmaschine.
15. Pulkkinen 2004, 137–139.
16. Antognazza 2009, 144, 180. Vapaasti katsottavissa oleva laite sijaitsee Hannoverin G. W. Leibniz Universitätin pohjakerroksen aulassa.
17. Davis 2000, 18.
18. Eco 1997, 228–259; Couturat 1985, 52.
19. Descartes 2001, 154–155.
20. Descartes 2001, 266.
21. Descartes 2001, 267.
22. Arnauld & Nicole 1996, 58–63.
23. Tarkemmin näistä hankkeista ks. Roinila 2000.
24. Belaval 1960, 186.

25. Ks. Peckhaus 1996, 31–32.
26. Davis 2000, 26–27.
27. (*Guilielmi Pacidii initia et specimina Scientiae generalis*) Leibniz 1965, 7, 125.
28. Sotirov 2006, 1004.
29. Siukonen 1997, 5–6.
30. Leibnizin akatemiahankkeista, ks. Roinila 2009.
31. Roinila 2007.
32. Ensyklopediasta tarkemmin, ks. Couturat 1985, 119–175.
33. Davis 2000, 15, 26–27.
34. Leibniz 2011, 69.
35. Leibniz 2011, 281–287.
36. Leibniz 2011, 479.
37. Leibniz 2011, 287.
38. Ks. Beilby 2002.
39. Michael Losonsky on pitänyt ajatusta spirituaalisista automaateista uskonnollisen hurmahenkisyyden yhtenä muotona (Losonsky 2001, 131).
40. Giglioni 2016, 191, 199–200.
41. Reid 2012, 29.
42. Losonsky 2001, 125.
43. More esittää syntyinlankeemuksen ihmisen tahdon voittona jumalallisesta valosta ja pitää itseohjautuvaa tahtoa merkinä eläimellisestä luonteesta (Losonsky 2001, 120, 125–126).
44. Losonsky 2001, 120, 123, 125; James 1997, 229.
45. Spinoza 1985, 37, kohta 85.
46. Noble 2017, 71.
47. Marshall 2013, 94–95.
48. Losonsky 2001, 151.
49. Spinoza 1985, *Ethics* sp2.
50. Ks. Spinoza 1985, *Ethics* 2p49.
51. Leibniz 2011, 220.
52. Losonsky 2001, 169.
53. Toinen kirja, luku *xxi*. Laajempi esitys tästä aiheesta: Roinila 2016. Leibniz kuvaa pienien havaintojen tehtäviä *Uusien tutkielmien* esipuheessa (ks. Leibniz 2011, 288–305) ja apperseptiota *Monadologian* (1714) kohdassa 14 (Leibniz 2011, 334).

+ + +

Antognazza, Maria Rosa (2009). *Leibniz. An Intellectual Biography*. Cambridge: Cambridge University Press.

Arnauld, Antoine & Pierre Nicole (1996). *Logic or the Art of Thinking*. Cambridge: Cambridge University Press.

Beilby, James (toim.) (2002). *Naturalism Defeated? Essays on Plantinga's Evolutionary Argument Against Naturalism*. Ithaca: Cornell University Press.

Belaval, Yvon (1960). *Leibniz critique de Descartes*. Paris: Gallimard.

- Couturat, Louis (1985). *La logique de Leibniz*. Hildesheim: Olms.
- Davis, Martin (2000). *Tietokoneen esihistoria Leibnizista Turingiin*. Helsinki: Art House.
- Descartes, René (2001). *Teokset I*. Suom. Sami Jansson. Helsinki: Gaudeamus.
- Eco, Umberto (1997). *The Search for the Perfect Knowledge*. London: Fontana.
- Giglioli, Guido (2016). Medicine of the Mind in Early Modern Philosophy. Teoksessa John Sellars (toim.): *The Routledge Handbook of the Stoic Tradition*. London: Routledge, 189–203.
- Heinämaa, Sara & Ilkka Tuomi (1989). *Ajatuksia synnyttävät koneet. Tekoälyä ja painajaisia*. Helsinki: WSOY.
- History Computer. Pascaline – Complete History of the Pascaline Calculator. <history-computer.com/pascaline-complete-history-of-the-pascaline-calculator/> Katsottu 6.4.2019.
- Gottfried Leibniz. <https://history-computer.com/gottfried-leibniz/> Katsottu 6.4.2019.
- Hobbes, Thomas (1839). *English Works*. Toim. William Molesworth, vol. 1. London: Bohn.
- James, Susan (1997). *Passion and Action. The Emotions in Seventeenth-Century Philosophy*. Oxford: Oxford University Press.
- Jolley, Nicholas (2013). Dull Souls and Beasts. Two Anti-Cartesian Polemics in Locke. Teoksessa *Causality and Mind*. Oxford: Oxford University Press, 214–228.
- Khalifa, Jean (2006). Pascal's Theory of Knowledge. Teoksessa Nicholas Hammond (toim.): *The Cambridge Companion to Pascal*. Cambridge: Cambridge University Press, 122–143.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1965). *Die Philosophischen Schriften I–VII*. Toim. C. I. Gerhardt. Hildesheim: Olms.
- (2011). *Filosofisia tutkielmia*. Toim. Tuomo Aho & Markku Roinila. Helsinki: Gaudeamus.
- Losonsky, Michael (2001). *Enlightenment and Action From Descartes to Kant. Passionate Thought*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Marshall, Eugene (2013). *The Spiritual Automaton. Spinoza's Science of the Mind*. Oxford: Oxford University Press.
- Noble, Christopher P. (2017). Self-Moving Machines and the Soul: Leibniz contra Spinoza on the Spiritual Automaton. *The Leibniz Review* 27, 65–89.
- Peckhaus, Volker (1996). *Logik, Mathesis universalis und allgemeine Wissenschaft: Leibniz und die Wiederentdeckung der formalen Logik im 19. Jahrhundert*. Berlin: Akademie.
- Pulkkinen, Jarmo (2004). *Sudenluusta supertietokoneeseen*. Helsinki: Art House.
- Reid, Jasper (2012). *The Metaphysics of Henry More*. Dordrecht: Springer.
- Rogers, Ben (2006). Pascal's Life and Times. Teoksessa Nicholas Hammond (toim.): *The Cambridge Companion to Pascal*. Cambridge: Cambridge University Press, 4–19.

- Roinila, Markku (2000). G. W. Leibnizin rationaalinen kielioppi. Teoksessa Panu Raatikainen (toim.): *Universaalikieli*. Helsinki: Helsingin yliopiston filosofian laitos, 59–73.
- (2007). *Leibniz on Rational Decision-Making*. Helsinki: Department of Philosophy.
- (2009). G. W. Leibniz and Scientific Societies. *International Journal of Technology Management* 46:1, 165–179.
- (2016). The Battle of the Endeavors: Dynamics of the mind and Deliberation in *New Essays*, book II. Teoksessa Wenchao Li (toim.): *"Für unser Glück oder das Glück anderer". Vorträge des X. Internationalen Leibniz-Kongresses Hannover*, 18.–23. Juli 2016, Band V. Hildesheim: Olms, 73–88.
- Siukonen, Jyrki (1997). Universaalien kieli ja satumaa. *Niin & näin* 1/1997, 5–6.
- Sotirov, Vladimir (2006). Leibniz's "Calcuemus!" at Work. Teoksessa Herbert Breger, Jürgen Herbst & Sven Erdner (toim.): *Einheit in der Vielheit. VIII. Internationaler Leibniz-Kongress*, Vorträge 2. Teil. G. W. Leibniz Gesellschaft, Hannover, 1004–1010.
- Spinoza, Baruch [Benedictus de] (1985). *The Collected Works of Spinoza*. Toim. Edwin Curley, vol. 1. Princeton: Princeton University Press (*Etiikka* saatavilla myös suomeksi, suom. Vesa Oittinen, Gaudeamus, 1994).